

531,947  
10/531947



## PCT

[illegible]

(71) **Déposant** (*pour tous les États désignés sauf US*) : **BIOMERIEUX** [FR/FR]; Chemin de l'Orme, F-69280 Marcy-l'Etoile (FR).

**(21) Numéro de la demande internationale :**

PCT/FR2003/003404

**(22) Date de dépôt international :**

18 novembre 2003 (18.11.2003)

**(25) Langue de dépôt :**

français

**(26) Langue de publication :**

français

**(30) Données relatives à la priorité :**

02/14459

19 novembre 2002 (19.11.2002) FR

**(71) Déposant (pour US seulement) : SNPE MATERIAUX  
ENERGETIQUES [FR/FR]; 12, quai Henri IV, F-75004  
Paris (FR).**

**(72) Inventeurs; et**

(75) **Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BROYER, Patrick** [FR/FR]; Le Parc du Ferrier, Rue des Maires André, F-01700 Beynost (FR). **COLIN, Bruno** [FR/FR]; 23, chemin des Garennes, F-69280 Marcy l'Etoile (FR). **ROLLER, Denis** [FR/FR]; 9, villa du Gamay, F-91590 La Ferté Alais (FR).

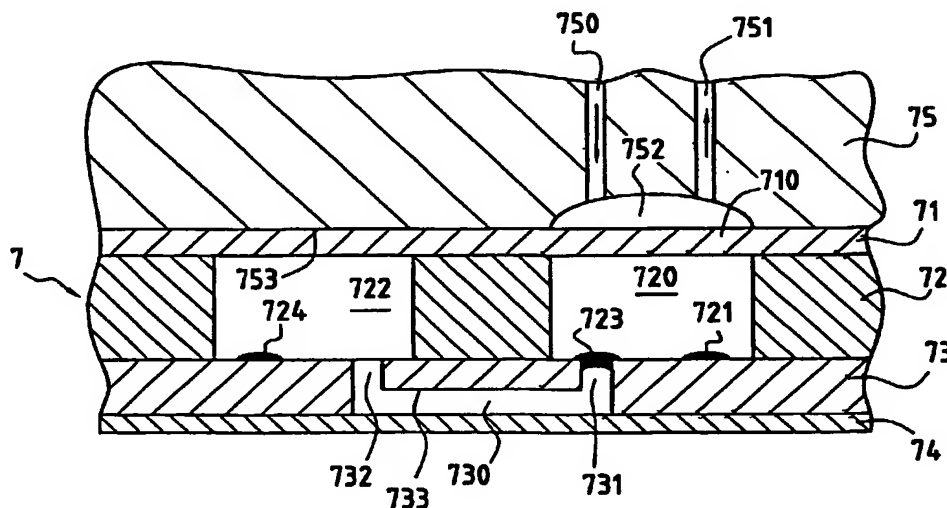
(74) Mandataire : SNPE; Service Propriété Industrielle, 12, quai Henri IV, F-75004 Paris (FR).

(81) **États désignés (*national*)** : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE,

*[Suite sur la page suivante]*

**(54) Title:** DOUBLE-EFFECT PYROTECHNIC MICRO-ACTUATOR FOR MICROSYSTEM AND MICROSYSTEM USING SAME

**(54) Titre : MICROACTIONNEUR PYROTECHNIQUE DOUBLE EFFET POUR MICROSYSTEME ET MICROSYSTEME UTILISANT UN TEL MICROACTIONNEUR**



**(57) Abstract:** The invention concerns the technical field of micro-actuators used for mechanical, chemical, electrical or thermal functions in microsystems, for microelectronic applications such as chips, or biomedical functions such as microfluidics integrating cards. The invention concerns a micro-actuator (1, 60, 7) comprising a so-called main chamber (2, 63, 720), made in a solid support (3) and containing a so-called main pyrotechnic charge (6,721), said main chamber (2,63,720) being sealed and delimited by solid support walls and by a deformable membrane (4,62,710), such that the gases emitted by the combustion of the main pyrotechnic charge (6, 721) enable the volume of said chamber (2, 63, 720) to be increased by deforming said membrane (4,62,710) while maintaining intact the solid walls of the main chamber (2, 63, 720). The invention is characterized in that it comprises means for evacuating the gases from the main chamber (720).

*[Suite sur la page suivante]*

**WO 2004/048787 A1**



GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

(57) **Abrége :** Le domaine technique de l'invention est celui des microactionneurs destinés à remplir des fonctions mécaniques, chimiques, électriques ou thermique dans des microsystèmes, pour des applications microélectroniques comme les puces, ou biomédicales comme les cartes *intégrant* la microfluidique. La présente invention concerne un microactionneur (1,60,7) comprenant une chambre (2,63,720), dite principale, réalisée dans un support solide (3) et contenant une charge pyrotechnique (6,721), dite principale, ladite chambre (2,63,720) principale étant hermétique et délimitée d'une part par des parois solides du support et d'autre part par une membrane (4,62,710) déformable, de sorte que les gaz émis par la combustion de la charge pyrotechnique (6, 721) principale permettent d'accroître le volume de ladite chambre (2,63, 720) principale par déformation de ladite membrane (4,62, 710), tout en maintenant intactes les parois solides de la chambre (2,63, 720) principale, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'évacuation des gaz de la chambre (720) principale.

Microactionneur pyrotechnique double effet pour  
microsystème et microsystème utilisant un tel  
microactionneur

5        Le domaine technique de l'invention est celui des  
microactionneurs destinés à remplir des fonctions  
mécaniques, chimiques, électriques, thermiques ou  
fluidiques dans des microsystèmes, pour des applications  
microélectroniques comme les puces, ou biomédicales  
10    comme les cartes d'analyse intégrant la microfluidique  
ou synthèse chimique comme les microréacteurs.

      Les microactionneurs sont des objets miniaturisés,  
réalisés dans des supports solides pouvant être semi-  
conducteurs ou isolants, dans le but de former des  
15    microsystèmes comme, par exemple, des microvannes ou des  
micropompes dans des microcircuits de fluide, ou des  
microinterrupteurs dans des microcircuits électroniques.

      Des microactionneurs utilisant des effets  
20    électrostatique, piézoélectrique, électromagnétique et  
bimétallique existent depuis quelque temps déjà. Une  
nouvelle génération de microactionneurs commence à faire  
son apparition : ceux utilisant l'effet pyrotechnique. A  
ce sujet, le brevet WO 98/22719 décrit une vanne  
25    miniature pour le remplissage du réservoir d'un appareil  
d'administration transdermique. Le principe de  
fonctionnement de cette vanne repose sur la  
fragmentation d'un substrat provoqué par les gaz de  
combustion d'une charge pyrotechnique, ledit substrat  
30    séparant initialement une réserve de fluide et un  
réservoir vide. Cette microvanne peut, selon une autre  
variante de réalisation, être utilisée avec une  
enveloppe gonflable. Les gaz de combustion provoquent  
d'abord la rupture du substrat puis le gonflement de  
35    l'enveloppe dans le but de pousser un fluide afin de  
l'évacuer. Ces microvannes présentent le double

inconvénient d'émettre des fragments de substrat dans le microcircuit et de mélanger les gaz de combustion avec le fluide qu'elles sont censées libérer.

5        Le brevet US 4,111,221 décrit une valve non miniaturisée permettant d'interrompre une seule fois, le débit d'un fluide entre trois canalisations concourantes. Ce système de valve comporte un générateur de gaz permettant de gonfler une vessie venant  
10 s'interposer au niveau de l'intersection entre les trois canalisations pour fermer complètement le circuit de fluide. Différentes variantes utilisant notamment un piston déformant la vessie sous l'action de gaz sont également présentées dans ce document.

15        De façon générale, les microactionneurs qui interviennent dans les microcircuits doivent être performants au niveau des forces qu'ils délivrent, conserver un encombrement réduit et demeurer une entité entière et autonome durant leur fonctionnement, sans  
20 possibilité de se morceler pour éviter d'émettre des particules dans le microcircuit dans lequel ils sont intégrés, et sans possibilité de voir les gaz de combustion polluer ledit microcircuit. Dans le cas d'un microcircuit de fluide, l'apport de la pyrotechnie  
25 permet aux microactionneurs d'engendrer des forces de pression 100 à 1000 fois plus élevées que celles produites par des microactionneurs fonctionnant à partir d'une source piézoélectrique ou électrostatique. De plus, les gaz émis par la combustion de la charge  
30 pyrotechnique peuvent également servir à chauffer un fluide ou une partie d'un micromécanisme sans se mélanger à lui.

      Dans certaines applications, il pourra également s'avérer intéressant de disposer de microactionneurs  
35 pouvant être réactivés en sens inverse, par exemple, dans le cas d'une microvanne, après une ouverture ou une

fermeture d'un circuit de fluide, pour obtenir respectivement la réouverture ou une nouvelle fermeture de ce circuit de fluide.

5        Le but de l'invention est donc de proposer un microactionneur performant, d'encombrement réduit, demeurant une entité entière et autonome durant son fonctionnement et pouvant être activé en sens inverse.

10        Ce but est atteint par un microactionneur comprenant une chambre, dite principale, réalisée dans un support solide et contenant une charge pyrotechnique, dite principale, ladite chambre principale étant hermétique et délimitée d'une part par des parois solides du support et d'autre part par une membrane  
15 déformable, de sorte que les gaz émis par la combustion de la charge pyrotechnique principale permettent d'accroître le volume de ladite chambre principale par déformation de ladite membrane, tout en maintenant intactes les parois solides de la chambre principale, ce  
20 microactionneur étant caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'évacuation des gaz de la chambre principale.

Autrement dit, les gaz émis par la combustion de la charge pyrotechnique sont sans aucune influence sur la  
25 géométrie de la partie solide de la chambre, que ce soit par déformation des parois ou par fragmentation de celles-ci.

Selon une particularité, les moyens d'évacuation des gaz émis par la combustion de la charge  
30 pyrotechnique sont activés lorsque la membrane est déformée. La diminution de la déformation de la membrane provoquée alors par l'évacuation d'une quantité de gaz devra être suffisante pour activer en sens inverse le microsystème dans lequel est utilisé le microactionneur  
35 selon l'invention.

Ces moyens d'évacuation pourront être actionnables sur commande ou selon une variante, lorsque par exemple une pression seuil est atteinte dans la chambre principale.

5        Selon un premier mode de réalisation, les moyens d'évacuation des gaz comportent une canalisation d'évacuation débouchant à une extrémité dans la chambre principale et à une autre extrémité vers l'extérieur du support, la canalisation étant initialement obturée lors  
10 de la déformation de la membrane, les moyens d'évacuation comportant également des moyens d'ouverture de la canalisation, actionnés pour permettre l'évacuation des gaz par la canalisation de la chambre principale vers l'extérieur du support et provoquer  
15 ainsi le retour de la membrane dans sa position initiale si celle-ci est élastique.

       Selon une deuxième mode de réalisation, les moyens d'évacuation des gaz comportent au moins une canalisation d'évacuation débouchant à une extrémité  
20 dans la chambre principale et à une autre extrémité dans une autre chambre, dite secondaire, hermétique, la canalisation d'évacuation étant initialement obturée lors de la déformation de la membrane, les moyens d'évacuation comportant également des moyens d'ouverture  
25 de la canalisation, actionnés pour permettre l'évacuation des gaz par la canalisation de la chambre principale vers la chambre secondaire et ainsi réduire la déformation de la membrane de manière suffisante pour activer en sens inverse le microsystème dans lequel est  
30 utilisé le microactionneur selon l'invention.

       La mise en oeuvre du microactionneur selon ces deux modes de réalisation, par exemple sur un microcircuit de fluide, permet d'obtenir une fermeture ou une ouverture du microcircuit de fluide suivie respectivement d'une  
35 ouverture ou d'une fermeture de ce microcircuit de fluide.

Selon une particularité de ces deux modes, la canalisation d'évacuation des gaz est formée dans le support.

Selon une particularité du deuxième mode, la  
5 chambre secondaire est réalisée dans le support.

Selon une autre particularité de ces deux modes de réalisation, la canalisation d'évacuation est obturée par un bouchon.

Selon une particularité, le bouchon est constitué  
10 d'une charge pyrotechnique.

Selon un mode de réalisation amélioré, une autre charge pyrotechnique, dite charge pyrotechnique secondaire, est logée dans l'une des deux chambres, cette charge pyrotechnique secondaire pouvant permettre  
15 lors de son initiation, après la réduction de la déformation de la membrane provoquée par l'évacuation des gaz dans la chambre secondaire, une nouvelle déformation de la membrane. Grâce à cette charge pyrotechnique secondaire, l'actionneur peut être  
20 réactivé une nouvelle fois.

La mise en oeuvre d'un microactionneur tel que défini ci-dessus et présentant cette dernière particularité, permet d'obtenir par exemple la fermeture d'un microcircuit de fluide suivie d'une ouverture,  
25 suivie d'une nouvelle fermeture du microcircuit. Le cycle inverse, ouverture/fermeture/ouverture, pourra également être obtenu en adaptant le dispositif.

Selon un premier mode de réalisation, les différentes charges pyrotechniques, c'est-à-dire la  
30 principale, la secondaire et celle constituant le bouchon, sont déposées chacune sur une piste conductrice chauffante avec par exemple une épaisseur de dépôt inférieure à 200µm.

Selon un second mode de réalisation de l'invention,  
35 chacune des charges pyrotechniques, principale ou secondaire, enrobe un fil conducteur chauffant

traversant la chambre où elle se situe, le diamètre dudit fil étant compris entre 10  $\mu\text{m}$  et 100  $\mu\text{m}$ .

Bien que ces deux modes d'initiation permettent  
5 dans la plupart des cas, l'allumage de la charge  
pyrotechnique considérée, il a quand même été constaté  
dans certaines configurations un problème lié à des  
pertes thermiques par conduction, dû à la mise en  
contact de l'élément conducteur chauffant avec le  
10 support, ces pertes nécessitant un surcroît d'énergie  
pour parvenir à l'allumage de la charge, s'accompagnant  
généralement d'un réchauffement significatif du  
microactionneur non souhaitable systématiquement. Donc  
selon un troisième mode de réalisation de l'invention,  
15 la piste conductrice chauffante est déposée sur la  
charge pyrotechnique au moyen de techniques largement  
éprouvées dans le domaine des microcircuits comme, par  
exemple, le dépôt d'une peinture ou d'une encre  
conductrice par sérigraphie ou jet d'encre, de façon à  
20 éviter tout contact direct entre ladite piste chauffante  
et le substrat.

Selon une particularité, chacune des charges  
pyrotechniques, principale ou secondaire, peut avoir la  
forme d'un film recouvrant une cavité creusée dans le  
25 support.

Ainsi, en isolant la charge pyrotechnique de tout  
support solide conducteur de chaleur, on parvient à  
réduire voire éliminer les pertes thermiques par  
conduction. Pour cette dernière configuration, on peut  
30 utiliser des matériaux énergétiques possédant une  
capacité filmogène comme, par exemple, le collodion.

La configuration pour résoudre au mieux le problème  
lié aux pertes thermiques par conduction, consiste donc  
à déposer la charge pyrotechnique sous forme de film sur  
35 une cavité du support et à assurer son initiation par  
une piste conductrice chauffante elle-même déposée sur



ladite charge. Par ce biais, les contacts directs entre la piste chauffante et le support sont nuls et ceux entre la charge et ledit support sont quasi-inexistants.

En raison de la miniaturisation des charges pyrotechniques, leur système d'initiation doit lui-même être d'encombrement réduit, tout en demeurant d'une grande fiabilité. De façon plus générale, il est également possible d'initier une charge pyrotechnique par d'autres moyens, et notamment ceux impliquant soit un cristal piézoélectrique, soit un rugueux, à condition qu'ils répondent à la double exigence de miniaturisation et de fiabilité, soit par un faisceau laser, l'énergie lumineuse pouvant alors être amenée jusqu'à la charge pyrotechnique par un guide d'onde ou une fibre optique.

De façon avantageuse, les charges pyrotechniques, principale, secondaire ainsi que celle constituant le bouchon, sont constituées par une composition à base de nitrocellulose.

En effet, en raison de la très petite taille des charges pyrotechniques utilisées, leur masse n'excédant pas quelques microgrammes, il est particulièrement souhaité d'employer des compositions homogènes.

Selon un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la charge pyrotechnique est constituée par du polyazoture de glycidyle.

De façon préférentielle, le volume de la chambre principale est inférieur à  $1 \text{ cm}^3$ . Avantagement, la densité de chargement qui est le rapport de la masse de la charge pyrotechnique sur le volume de la chambre est compris entre  $0,01 \mu\text{g}/\text{mm}^3$  et  $0,1 \text{ mg}/\text{mm}^3$ . Pour un volume de chambre donné, il est tout à fait possible de définir une charge pyrotechnique en terme de masse, géométrie et composition, apte à produire une énergie donnée.

Préférentiellement, la membrane est souple et susceptible de se gonfler sous l'effet des gaz émis par la charge pyrotechnique. Suivant les besoins liés à

l'utilisation de l'actionneur, la membrane peut présenter des propriétés d'extensibilité plus ou moins marquées.

Selon un autre mode de réalisation préféré de  
5 l'invention, la membrane est souple et repliée dans ladite chambre, ladite membrane étant apte à se déplier sous l'effet des gaz émis par la charge pyrotechnique. Selon les configurations, la membrane peut être soit repliée sur elle-même, soit être repliée dans la  
10 chambre. De façon avantageuse, une fois que la membrane s'est dépliée sous l'effet des gaz, le volume final de la chambre est supérieur à son volume initial.

De façon préférentielle, la membrane est en matériau plastique et/ou élastique par exemple en téflon  
15 ou en latex. Avantageusement, pour des applications microélectroniques, la membrane peut être entièrement ou partiellement recouverte d'un matériau conducteur.

Ces microactionneurs peuvent à eux seuls assurer  
20 des fonctions au sein d'un microcircuit, comme par exemple, exercer une pression sur un fluide pour contribuer à le déplacer pour l'évacuer, mais ils sont plus généralement destinés à être inclus dans des microsystèmes.

25 Un microsystème est un dispositif multifonctionnel miniaturisé dont les dimensions maximales n'excèdent pas quelques millimètres. Dans le cadre d'un microcircuit de fluide, un microsystème peut, par exemple, être une microvanne ou une micropompe, et dans le cadre d'un  
30 microcircuit électronique un microinterrupteur ou un microcommutateur. Les microactionneurs sont réalisés dans des supports semiconducteurs, comme ceux en silicium par exemple, lorsqu'il s'agit d'une application microélectronique. Ils peuvent être conçus dans d'autres  
35 matériaux, comme du polycarbonate, pour d'autres applications et notamment dans le domaine biomédical. La

conformation de la chambre est telle, que sous l'effet des gaz émis par la combustion de la charge pyrotechnique, elle accroît son volume. La chambre peut contenir plusieurs charges pyrotechniques, non pas dans le but d'augmenter la pression interne de ladite chambre au moyen d'un allumage simultané desdites charges, mais de façon à maintenir un niveau de pression à peu près constant dans le temps, pour pallier une éventuelle relaxation prématurée de la chambre, notamment dans le cas des micropompes. Dans ce cas, l'initiation des charges s'effectue de façon séquentielle, à des intervalles de temps prédéterminés. Préférentiellement, ladite chambre définit un espace hermétique une fois qu'elle s'est expansée. Autrement dit, une fois la combustion terminée, la chambre demeure dans une configuration correspondant à un état d'expansion maximum.

L'invention porte donc également sur un microsystème incluant un microactionneur selon l'invention, ce microsystème étant caractérisé en ce qu'il comporte une pièce solide, la déformation de la membrane provoquant le déplacement de la pièce solide. En effet, les gaz émis par la combustion de la charge pyrotechnique créent une surpression dans la chambre qui va avoir tendance à s'expanser par déformation de la membrane. La membrane vient alors au contact d'une pièce placée à proximité du microactionneur et lorsque les forces de pression atteignent une valeur seuil, elles provoquent le déplacement de ladite pièce.

Selon un premier mode de réalisation préféré d'un microsystème selon l'invention, la pièce solide est susceptible de venir obstruer une canalisation de fluide, suite au pivotement de ladite pièce sous l'effet des gaz de combustion. Pour cette configuration où le microactionneur est utilisé dans le cadre d'un

microcircuit de fluide, le microsysteme peut être assimilé à une microvanne à fermeture.

Selon un deuxième mode de réalisation préféré d'un microsysteme selon l'invention, la pièce solide obstrue  
5 initialement une canalisation de fluide et le déplacement de ladite pièce par pivotement entraîne l'ouverture de ladite canalisation. Pour cette configuration, le microsysteme peut être assimilé à une microvanne d'ouverture.

10 Selon l'invention, le microactionneur comporte également des moyens d'évacuation des gaz permettant de réduire la déformation de la membrane. Préférentiellement, l'ouverture de la canalisation d'évacuation permet l'évacuation des gaz vers  
15 l'extérieur du support ou vers une chambre secondaire. La réduction de la déformation de la membrane est suffisante pour provoquer, selon le premier mode de réalisation, la réouverture du microcircuit de fluide, ou, selon le second mode de réalisation, une nouvelle  
20 fermeture du microcircuit de fluide.

Selon l'invention, l'une des chambres peut contenir une autre charge pyrotechnique. Cette seconde charge pyrotechnique est destinée à être initiée après la réduction de la déformation de la membrane, c'est-à-dire  
25 après la réouverture du microcircuit de fluide dans le cas du premier mode de réalisation ou après la nouvelle fermeture du microcircuit de fluide dans le cas du second mode de réalisation. L'initiation de cette seconde charge crée une surpression de gaz dans les deux  
30 chambres, celles-ci étant reliées par la canalisation d'évacuation qui est ouverte depuis la rupture du bouchon. Cette surpression crée une nouvelle déformation de la membrane qui vient alors de nouveau déplacer la pièce solide pour que celle-ci, dans le cas du premier  
35 mode de réalisation, referme le microcircuit de fluide

ou, dans le cas du second mode de réalisation, ouvre de nouveau le microcircuit.

Avantageusement, la pièce solide qui vient obstruer la canalisation de fluide est surmontée d'une  
5 protubérance souple pour assurer une bonne étanchéité au niveau de la fermeture de ladite canalisation, ladite protubérance étant assimilable à un bouchon.

Selon un troisième mode de réalisation préféré d'un  
10 microsystème selon l'invention,

- i) une membrane souple est située dans un espace annulaire assimilable à une gorge et constituant la chambre principale,
- ii) la charge pyrotechnique est située dans un  
15 espace annulaire assimilable à une gorge de plus petite dimension que celle dans laquelle est située la membrane souple et positionnée de façon concentrique par rapport à celle-ci, les deux gorges communiquant entre elles par  
20 au moins une ouverture,
- iii) Une pièce solide plate vient en appui contre le support en coiffant l'espace annulaire dans lequel est situé la membrane souple, ladite pièce étant elle-même recouverte par une  
25 membrane élastique et obstruant une canalisation de fluide,

de sorte que les gaz émis par la combustion de la charge entraînent le déploiement de la membrane souple située dans l'espace annulaire et provoquent le déplacement de  
30 la pièce plate, en induisant une aspiration de fluide dans l'espace que la membrane élastique crée en s'éloignant du support.

Pour cette configuration, le microsystème peut être assimilé à une micropompe à dépression et l'utilisation  
35 de plusieurs charges pyrotechniques à allumage séquentiel peut apparaître comme particulièrement

appropriée, de façon à maintenir un niveau de pression seuil minimum pendant un certain temps, et donc à éviter un reflux naturel prématuré du fluide.

Selon l'invention, l'utilisation de moyens  
5 d'évacuation des gaz vers la chambre secondaire peut permettre de réduire la déformation de la membrane. Après cette réduction de la déformation de la membrane, l'initiation d'une seconde charge pyrotechnique située dans l'une des deux chambres permet de créer une  
10 surpression dans les deux chambres reliées par la canalisation d'évacuation. Cette surpression provoque une nouvelle déformation de la membrane et ainsi une nouvelle aspiration de fluide dans l'espace que la membrane crée en s'éloignant du support.

15 Le microactionneur selon l'invention peut être utilisé dans des microcircuits électroniques en contribuant à la réalisation de microsystèmes tels que des microinterrupteurs ou des microcommutateurs. En  
20 effet, la membrane qui délimite partiellement la chambre et qui est recouverte entièrement ou partiellement d'un matériau conducteur peut se gonfler ou se déployer de manière à venir fermer ou ouvrir un microcircuit électrique. De même, le microactionneur selon  
25 l'invention muni d'une membrane souple non conductrice, peut déplacer une pièce solide conductrice de manière à fermer ou ouvrir un microcircuit électrique ou assurer la double fonction consistant d'abord à ouvrir un microcircuit électrique puis, ensuite, à en fermer un  
30 autre.

Les microactionneurs pyrotechniques selon l'invention ont l'avantage d'être performants et fiables tout en restant propres. Ils sont propres à deux  
35 titres ; d'abord, ils demeurent intacts durant toute leur phase de fonctionnement sans risque d'être

fragmentés, évitant de libérer des particules solides parasites dans le microcircuit, ensuite, les gaz émis par la charge pyrotechnique sont emprisonnés dans la chambre qui délimite un espace hermétique, sans aucune  
5 possibilité d'envahir le microcircuit. De plus, les microactionneurs pyrotechniques selon l'invention sont simples. Une chambre avec membrane, une charge pyrotechnique et un système d'allumage sont leurs seuls éléments constitutifs et les phénomènes physico-  
10 chimiques qu'ils engendrent restent basiques.

Enfin, pour un volume de chambre donné, la grande variabilité des compositions pyrotechniques pouvant être intégrées dans les microactionneurs selon l'invention, permet d'obtenir une gamme très étendue de  
15 sollicitations. Ceci permet ainsi d'utiliser les microactionneurs selon l'invention dans un grand nombre de configurations.

On donne ci-après une description détaillée d'un mode de réalisation préféré d'un microactionneur selon l'invention ainsi que de trois modes de réalisation préférés d'un microsystème utilisant un microactionneur selon l'invention, en se référant aux figures 1 à 10.

La figure 1 est une vue en coupe axiale longitudinale d'un microactionneur selon l'invention.  
25

La figure 2 est une vue en coupe axiale longitudinale d'une microvanne permettant de réaliser un cycle de fermeture/ouverture/fermeture et fonctionnant à partir d'un microactionneur amélioré selon l'invention.

La figure 3 est une vue en coupe axiale longitudinale d'une microvanne de fermeture fonctionnant à partir d'un microactionneur pyrotechnique tel que représenté en figure 1.  
30

La figure 4 est une vue du dessus du clapet de fermeture de la microvanne de la figure 3.  
35

La figure 5 est une vue en coupe axiale

longitudinale d'une microvanne d'ouverture fonctionnant à partir d'un microactionneur pyrotechnique tel que représenté en figure 1.

La figure 6 est une vue en coupe selon le plan VI-VI de la microvanne d'ouverture de la figure 5.

La figure 7 est une vue en coupe axiale longitudinale d'une micropompe utilisant un microactionneur pyrotechnique tel que représenté en figure 1, ledit microactionneur n'ayant pas encore fonctionné.

La figure 8 est une vue du dessus de la pièce plate solide à déplacer et appartenant à la micropompe présentée à la figure 7.

La figure 9 est une vue en coupe axiale longitudinale de la micropompe de la figure 7, le microactionneur ayant fonctionné.

La figure 10 est une vue en coupe axiale longitudinale d'une seconde variante de réalisation d'une micropompe utilisant un microactionneur selon l'invention, ledit microactionneur ayant fonctionné.

En se référant à la figure 1, un microactionneur 1 selon l'invention comprend une chambre 2 réalisée dans un support 3 en polycarbonate et ayant une forme cylindrique. Ledit support 3 résulte d'un empilement de feuilles en polycarbonate collées les unes aux autres. Dans tous les modes de réalisation présentés ci-dessous, cette technique d'empilement pourra être utilisée. La description qui sera faite ci-après en référence à la figure 2 met plus particulièrement en avant cette technique. Ladite chambre 2 qui est donc délimitée par le support 3 présente une face circulaire obturée par une membrane 4 souple par exemple en latex ou en téflon, fixée par exemple par collage dans ledit support 3. Ladite chambre 2 est traversée par un fil chauffant 5



enrobé d'une couche de composition pyrotechnique 6 à base de nitrocellulose. Le diamètre du fil chauffant pourra être compris par exemple entre 10  $\mu\text{m}$  et 100  $\mu\text{m}$ .

Le mode de fonctionnement de cet actionneur 1 est le suivant. Un courant électrique est délivré dans le fil chauffant 5 dont la température s'élève jusqu'à atteindre la température d'inflammation de la composition pyrotechnique 6. La combustion de ladite composition 6 entraîne la production de gaz qui créent une surpression dans la chambre 2. La membrane 4 qui est ainsi sollicitée réagit en se gonflant.

Comme décrit ci-dessus, d'autres modes d'initiation peuvent bien entendu être envisagés. En effet, la charge pyrotechnique peut être déposée directement sur une piste conductrice chauffante avec une épaisseur de dépôt inférieure à 200  $\mu\text{m}$ .

Comme écrit dans la partie introductive de cette description, certaines pertes thermiques peuvent survenir dues à la mise en contact de l'élément conducteur chauffant avec le support. Dans ce cas, la piste conductrice chauffante pourra être déposée sur la charge de façon à éviter tout contact direct entre ladite piste chauffante et le substrat sur lequel la charge est déposée. Ces pertes thermiques par conduction pourront également être réduites par exemple en recouvrant une cavité creusée dans le support à l'aide de la charge. La charge sera alors par exemple sous forme de film et la piste conductrice sera directement déposée sur la charge. Dans cette configuration, on remarque que les contacts directs entre la piste chauffante et le support sont nuls et ceux entre la charge et ledit support sont quasi-inexistants du fait de la présence de la cavité.

La figure 2 représente un microactionneur 7 amélioré permettant d'obtenir une déformation de la membrane comme décrit en référence à la figure 1 et une réduction de cette déformation. Sur la figure 2, ce microactionneur 7 joue le rôle d'une microvanne dans un microcircuit de fluide. Le microactionneur 7 selon l'invention est constitué de quatre couches superposées 71, 72, 73 et 74, dite respectivement première couche, deuxième couche, troisième couche et quatrième couche. Les deuxième, troisième et quatrième couches 72, 73, 74 constituent le support et sont par exemple en polycarbonate. La première couche 71 est en matériau plastique et/ou élastique, par exemple en téflon ou en latex. Sur la première couche 71 du microactionneur 7 est présente une cinquième couche 75 constituant le microcircuit de fluide. Cette cinquième couche 75 constituée par le microcircuit de fluide est traversée transversalement par deux canalisations 750 et 751. Les deux canalisations 750 et 751 comportent une extrémité débouchant dans un évidement 752 formé sur la face 753 de cette cinquième couche 75, dite face inférieure, située en vis-à-vis de la première couche 71 du microactionneur 7. Les deux canalisations 750 et 751 communiquent donc par l'intermédiaire de l'évidement 752. Une première canalisation 750 constitue par exemple une arrivée de fluide vers l'évidement 752 et la deuxième canalisation 751 constitue une sortie de fluide hors de l'évidement 752.

La première couche 71 du microactionneur constitue une membrane 710 déformable telle que celle décrite sous la référence 4 à la figure 1. La membrane 710 étant fixée sur la face inférieure 753 de la cinquième couche 75, par exemple par collage, la déformation de la membrane 710 n'est possible que dans l'évidement 752 de la cinquième couche 75. Cette déformation pourra être due par exemple à un gonflage.

La deuxième couche 72 est constituée d'une feuille percée transversalement de deux trous et d'épaisseur par exemple égale à 0,5 mm. Les parois latérales d'un premier trou délimitent avec la première couche 71  
5 située au-dessus et avec la troisième couche 73 située au-dessous, la chambre 720 de combustion principale du microactionneur telle que décrite en référence à la figure 1. Cette chambre 720 principale comporte donc la charge pyrotechnique 721, dite principale permettant  
10 d'obtenir la déformation de la membrane 710. Cette charge pyrotechnique 721 principale pourra être initiée selon l'un des modes présentés ci-dessus, c'est-à-dire à l'aide d'un fil chauffant ou d'une piste conductrice (non représenté(e) sur la figure 2). La chambre  
15 principale 720 aura par exemple un diamètre de 0,8 mm. Les parois latérales d'un deuxième trou délimitent avec la première couche 71 située au-dessus et avec la troisième couche 73 située au-dessous une chambre secondaire ou réservoir 722 dont le rôle sera explicité  
20 ci-dessous. Cette chambre secondaire 722 aura par exemple un diamètre égal à 2 mm.

La troisième couche 73 est constituée d'une feuille à travers laquelle est formée une canalisation 730 en forme de U dont chacune des extrémités débouche dans une  
25 des chambres 720 et 722 de la deuxième couche 72. Cette canalisation 730 est constituée d'un canal 733 creusé sur la face de la troisième couche 73 située en vis-à-vis de la quatrième couche 74 et recouvert par la quatrième couche 74 du microactionneur 7. Chaque  
30 extrémité du canal 733 se prolonge perpendiculairement par un conduit 731 et 732, chacun des conduits 731 et 732 débouchant dans une chambre 720 et 722 de la deuxième couche 72 du microactionneur. Cette quatrième couche 74 est constituée d'un film d'étanchéité  
35 recouvrant la canalisation 730.

Le conduit 731 de la canalisation 730 débouchant dans la chambre principale 720 est initialement obturé de manière étanche par exemple par un bouchon 723. La communication entre les deux chambres 720 et 722 est donc impossible.

Une microvanne telle que représentée en figure 2 fonctionne de la manière suivante. Un courant électrique est délivré dans le fil chauffant ou la piste conductrice jusqu'à ce que la température atteinte soit suffisante pour l'inflammation de la charge pyrotechnique 721 principale contenue dans la chambre principale 720. La combustion de la charge pyrotechnique 721 principale entraîne la production de gaz dans la chambre principale 720 de sorte à créer une surpression dans cette chambre 720. La surpression entraîne la déformation de la membrane 710. La déformation de la membrane 710 en réponse à la pression des gaz n'est possible qu'en direction de l'évidement 752 formé dans la cinquième couche 75. La membrane vient donc se gonfler jusqu'à venir se plaquer au fond de l'évidement 752 et ainsi s'interposer entre les deux canalisations 750 et 751. Le microcircuit de fluide est donc fermé et cette fermeture est maintenue grâce à la pression des gaz contenus dans la chambre principale 720 sur la membrane 710 déformable. La pression des gaz contenus dans la chambre principale 720 est suffisante pour plaquer la membrane 710 au fond de l'évidement 752 et supérieure à la contre-pression exercée sur la membrane 710 par le fluide contenu dans le microcircuit de manière à maintenir la membrane 710 au fond de l'évidement 752.

Le bouchon 723 obture toujours la canalisation 730 reliant les deux chambres 720 et 722. Ce bouchon 723 est par exemple constitué d'une charge pyrotechnique qui est déposée sur la troisième couche 73, devant l'entrée du

conduit 731 de la canalisation d'évacuation 730. Cette charge pyrotechnique peut être initiée par les différents modes présentés ci-dessus. L'initiation de cette charge permet de dégager l'entrée de la

5 canalisation 730 reliant les deux chambres 720 et 722. Les gaz générés par la combustion de la charge pyrotechnique constituée par le bouchon 723 viennent s'ajouter aux gaz déjà présents issus de la combustion de la charge pyrotechnique 721 principale. La chambre

10 secondaire 722 étant à une pression inférieure à la pression régnant dans la chambre principale 720, les gaz contenus dans la chambre principale 720, c'est-à-dire ceux issus de la combustion de la charge pyrotechnique 721 principale et ceux issus de la charge pyrotechnique

15 constituée par le bouchon 723, peuvent se répandre par la canalisation 730 dans la chambre secondaire. Le volume de la chambre secondaire 722 est suffisant pour obtenir une pression des gaz entre les deux chambres 720, 722 qui soit inférieure à la contre-pression

20 exercée sur la membrane 710 par le fluide compris dans le microcircuit. Ainsi, lors de la détente des gaz, on obtient une réduction de la déformation de la membrane 710 suffisante pour libérer les orifices formés par les canalisations 750, 751 du microcircuit de fluide. Cette

25 déformation de la membrane 710, vers l'extérieur de l'évidement 752, provoque l'ouverture de la vanne et donc la mise en communication des deux canalisations 750 et 751 du microcircuit de fluide.

Selon une variante de réalisation, il serait

30 également possible de purger les gaz contenus dans la chambre principale 720 directement vers l'extérieur du dispositif en mettant la chambre principale 720 en communication avec l'air libre. Selon cette variante, la membrane 710, si elle est élastique, revient dans sa

35 position initiale.

Selon l'invention, l'initiation de la charge pyrotechnique constituant le bouchon 723 peut être réalisée sur commande d'un opérateur et/ou lorsqu'une pression seuil est atteinte dans la chambre principale  
5 720.

Selon l'invention, une autre charge pyrotechnique 724, dite secondaire, peut être placée dans l'une des chambres, principale 720 ou secondaire 722. Sur la figure 2, la charge pyrotechnique secondaire 724 est  
10 placée dans la chambre secondaire 722. Cette charge pyrotechnique 724 pourra être initiée selon l'un des modes présentés ci-dessus, c'est-à-dire à l'aide d'un fil chauffant ou d'une piste conductrice.

Selon l'invention, après la mise en communication  
15 des deux chambres 720 et 722, l'initiation de cette nouvelle charge pyrotechnique 724 va créer une surpression de gaz à l'intérieur des deux chambres 720 et 722, désormais communicantes. Cette surpression de gaz à l'intérieur des deux chambres 720 et 722 provoque  
20 une nouvelle déformation de la membrane 710. La déformation de la membrane 710 n'est possible qu'au niveau de l'évidement 752 créé dans la cinquième couche 75. La membrane se gonfle donc à l'intérieur de l'évidement sous la pression des gaz jusqu'à venir se  
25 plaquer dans le fond de l'évidement 752 et obturer l'extrémité des canalisations 750 et 751 débouchant dans l'évidement 752. La pression des gaz à l'intérieur des deux chambres 720, 722 est à nouveau suffisante pour déformer le membrane 710 et supérieure à la contre-  
30 pression exercée sur la membrane 710 par le fluide contenu dans le microcircuit.

Selon l'invention, les charges pyrotechniques 721 et 724, principale et secondaire, utilisés devront être disposés dans les chambres en quantité suffisante pour  
35 permettre une déformation de la membrane et éviter une

détérioration du matériel. Elles seront par exemple déposées sur la troisième couche 73 et initiées selon l'un des modes présentées ci-dessus.

La masse de la charge pyrotechnique 721 principale sera fonction du volume de la chambre principale 720 dans laquelle elle se trouve, du volume de gaz nécessaire à la déformation de la membrane 710 et de la contre-pression exercée sur la membrane 710 par le fluide contenu dans le microcircuit. De même, la masse de la charge pyrotechnique 724 secondaire sera fonction du volume des deux chambres 720 et 722, de la masse de la charge pyrotechnique 721 principale ainsi que de la masse de la charge pyrotechnique constituant le bouchon 723. Ces deux charges ainsi que celle constituant le bouchon 723 sont déposées sur la troisième couche par exemple chacune sur une cavité distincte pour éviter les pertes thermiques par conduction.

Selon l'invention, il est également possible de prévoir un certain nombre d'autres chambres, du type de la chambre secondaire 722, reliées à la chambre principale 720 par une canalisation initialement obturée par une charge pyrotechnique, ce nombre dépendant du nombre de cycle fermeture/ouverture que l'on souhaite réaliser. Le volume de ces chambres devra être croissant de manière à pouvoir toujours obtenir lors de l'ouverture de l'une d'elles, une pression des gaz dans toutes les chambres communicantes qui soit inférieure à la contre-pression exercée sur la membrane 710 par le fluide contenu dans le microcircuit. Les masses des charges pyrotechniques, contenues dans les chambres et permettant d'obtenir, après une ouverture du microcircuit, une nouvelle déformation de la membrane 710, devront également être croissantes de manière à pouvoir toujours générer la quantité nécessaire de gaz pour obtenir, dans les chambres communicantes, une

pression suffisante pour provoquer la nouvelle déformation de la membrane 710 et supérieure à la contre-pression exercée sur la membrane 710 par le fluide contenu dans le microcircuit.

5        En se référant à la figure 3, une microvanne de fermeture 10 est réalisée dans un support en polycarbonate et comprend un microactionneur 1 analogue à celui décrit en référence à la figure 1 et situé à proximité d'un microcircuit de fluide 11. Ce  
10 microcircuit de fluide 11 comporte une canalisation 12 rectiligne traversant une chambre cylindrique 14 située dans le prolongement de la chambre cylindrique 2 du microactionneur 1, et ayant approximativement le même diamètre, les deux chambres 2,14 étant séparées l'une de  
15 l'autre par la membrane 4 du microactionneur 1. La chambre 14 qui est traversée par la canalisation 12 est remplie de fluide et contient un clapet 15 de fermeture. En se référant à la figure 4, le clapet 15 est constitué par une pièce solide plane percée transversalement d'un  
20 trou circulaire. Deux branches 18 perpendiculaires solidaires de la pièce solide suivent deux diamètres du trou. A l'intersection de ces deux branches 18 est placée une pièce arrondie 16. Le fluide peut circuler entre la membrane 4 et la canalisation 12 en passant  
25 entre les branches de la pièce solide supportant la pièce arrondie 16. Ladite pièce 16 arrondie qui est réalisée en matériau souple, comme du caoutchouc, n'est donc pas en contact direct avec la membrane 4. Le volume de la chambre 2 est de  $0,3 \text{ mm}^3$  et la masse, de la charge  
30 pyrotechnique 6 est de  $0,5 \text{ } \mu\text{g}$ .

Le mode de fonctionnement de cette microvanne 10 de fermeture est le suivant. La mise à feu de la charge pyrotechnique 6 entraîne une surpression dans la chambre 2 qui provoque alors le déplacement en translation du  
35 clapet 15 dans la chambre 14 remplie de fluide. Ce



déplacement s'effectue jusqu'à ce que la pièce souple 16 vienne s'encaster dans la canalisation 12 interrompant la circulation de fluide. La partie de la canalisation destinée à recevoir la pièce souple 16 est légèrement évasée de façon à assurer une fermeture étanche de la canalisation. Une fois la combustion de la charge pyrotechnique 6 terminée, le clapet 15 ne revient pas à sa position initiale, puisque la chambre 2 définit un espace hermétique.

10 Selon l'invention, une évacuation des gaz vers l'extérieur ou vers une chambre secondaire du type de celle décrite en référence à la figure 2 peut également être envisagée pour ce mode de réalisation. Dans ce cas, comme dans la microvanne représentée en figure 2, 15 l'évacuation des gaz vers l'extérieur du support ou la détente des gaz provoquée par la mise en communication de la chambre principale 2 et d'une chambre secondaire provoquera, sous la pression du fluide contenu dans le microcircuit, une réduction suffisante de la déformation de la membrane 4 et ainsi la réouverture de la 20 canalisation 12. Dans le cas où l'évacuation des gaz est effectuée vers une chambre secondaire, comme dans le mode de réalisation décrit en référence à la figure 2, une seconde charge pyrotechnique pourra être prévue à l'intérieur de l'une des chambres de manière à obtenir 25 après son initiation, une nouvelle déformation de la membrane 4. L'initiation de cette seconde charge pyrotechnique permet de créer une nouvelle surpression dans les deux chambres en communication et donc d'obtenir une nouvelle déformation de la membrane 4. 30 Cette nouvelle déformation aura lieu jusqu'à l'encastrement de la pièce arrondie 16 dans la partie évasée de la canalisation 12 pour l'obturer de nouveau. Avec ces modifications, la microvanne 10 sera apte à 35 réaliser un cycle de fermeture/ouverture/fermeture de la canalisation 12.

Comme décrit ci-dessus, pour cette microvanne 10, il est également possible de prévoir un certain nombre d'autres chambres du type de la chambre secondaire 722, ce nombre dépendant du nombre de cycles  
5 fermeture/ouverture que l'on souhaite réaliser.

En se référant à la figure 5, une microvanne d'ouverture 20 est réalisée dans un support en polycarbonate et comprend un microactionneur 1 analogue  
10 à celui décrit au paragraphe relatif à la figure 1 et situé à proximité d'un microcircuit de fluide. A proximité immédiate dudit microactionneur 1 et plus particulièrement de sa membrane 4, est placée une lamelle 21 flexible en polycarbonate solidaire du  
15 support fait du même matériau. En se référant à la figure 6, la lamelle flexible 21 est une pièce plate d'épaisseur constante, présentant un corps arrondi 22 prolongé par une partie 23 allongée plus étroite ayant une extrémité arrondie. La lamelle 21 est solidaire du  
20 support par l'intermédiaire d'une languette 24, de plus faible épaisseur. Cette languette 24 relie plus précisément ledit support à l'extrémité du corps arrondi 22 de la lamelle 21, la plus éloignée de l'extrémité arrondie de la partie 23 plus étroite qui la prolonge.  
25 L'extrémité arrondie de ladite partie étroite 23 porte une protubérance 25 souple de forme approximativement hémisphérique, la dite protubérance 25 obturant une canalisation 26. L'effort nécessaire au maintien de l'étanchéité, même en cas de contre-pression due au  
30 fluide de la canalisation 26, est obtenu par une flexion initiale de la lamelle 21.

Le mode de fonctionnement de cette microvanne 20 d'ouverture est le suivant. La mise à feu de la charge pyrotechnique 6 entraîne une surpression dans la chambre  
35 2 qui provoque alors le gonflement de la membrane 4 qui

vient en appui contre la lamelle 21 flexible. La membrane 4 gonflée est représentée en pointillés sur la figure 5. Les forces de pression exercées sur ladite lamelle 21 provoquent son pivotement autour de la languette 24 qui la relie au support, permettant l'ouverture de la canalisation 26 initialement obturée par la protubérance 25 de ladite lamelle 21. Durant son déplacement, la lamelle 21 demeure rigide sans se déformer et joue donc le rôle d'un clapet pivotant.

Selon l'invention, une évacuation des gaz vers l'extérieur ou vers une chambre secondaire du type de celle décrite en référence à la figure 2 peut également être envisagée pour ce mode de réalisation. Dans ce cas, comme dans la microvanne représentée en figure 2, l'évacuation ou la détente des gaz provoquera une réduction de la déformation de la membrane 4 et donc dans ce cas, à l'inverse de la microvanne présentée en référence à la figure 3, une nouvelle fermeture de la canalisation 12. De même, comme dans le mode de réalisation de la figure 2 et de la figure 3, une seconde charge pyrotechnique située dans la chambre secondaire formée dans le support, pourra être initiée afin d'obtenir une nouvelle déformation de la membrane 4. Cette nouvelle déformation de la membrane provoque une réouverture de la canalisation 26. Avec ces modifications, la microvanne 20 sera apte à réaliser un cycle de ouverture/fermeture/ouverture de la canalisation 26.

Comme décrit ci-dessus, pour cette microvanne 20, il est également possible de prévoir un certain nombre d'autres chambres du type de la chambre secondaire 722, ce nombre dépendant du nombre de cycles ouverture/fermeture que l'on souhaite réaliser.

En se référant à la figure 7, une micropompe 40 à dépression comprend un microactionneur 60 selon l'invention, réalisé dans un support 61 en polycarbonate, par exemple par empilement et collage de feuilles, et comportant une membrane souple 62 située dans un espace annulaire 63 assimilable à une gorge. De façon plus précise, ladite membrane 62 tapisse le fond de la gorge 63 en étant fixée à ladite gorge 63 au niveau de sa partie supérieure. Une charge pyrotechnique est située dans un espace annulaire assimilable à une gorge de plus petite dimension que celle 63 dans laquelle est située la membrane 62 et positionnée par rapport à celle-ci 63 de façon concentrique, les deux gorges communiquant entre elles par quatre ouvertures régulièrement espacées sur une paroi circulaire séparant les deux gorges. La gorge enfermant la charge pyrotechnique est enfouie dans le support 61 alors que la gorge 63 qui est tapissée par la membrane 62 souple est ouverte à sa partie supérieure. Une feuille 64 du support 61 en polycarbonate coiffe ladite gorge 63. De l'autre côté de la feuille 64 est ménagé, dans le support 61, un espace libre 65 cylindrique dont le diamètre est supérieur à celui de ladite feuille 64, ledit espace 65 possédant deux événements 66. La feuille 64 est recouverte d'une membrane élastique 67, de forme circulaire, et de diamètre supérieur à celui de l'espace libre 65 situé au delà de ladite feuille 64. Ladite membrane élastique 67 est fixée dans ledit espace libre 65, dans sa partie la plus proche de la feuille 64. Une canalisation 68 de fluide, creusée dans le support 61 au niveau de la partie centrale de la gorge contenant la charge pyrotechnique, débouche dans l'espace libre 65 dudit support 61.

En se référant à la figure 8, ladite feuille 64 est découpée de sorte qu'elle est constituée par une bande

annulaire 80 plate, périphérique, reliée à un disque plat central 81 au moyen de quatre brins déformables 82 en forme de S. Le disque central 81 recouvre intégralement la gorge annulaire 63. Entre ledit disque plat central 81 et la bande annulaire périphérique 80 subsiste un espace annulaire vide 83.

Le mode de fonctionnement de ce type de micropompe à dépression est le suivant. En se référant aux figures 7, 8 et 9, la combustion de la charge pyrotechnique engendre des gaz qui envahissent, par les quatre ouvertures, la gorge 63 externe tapissée par la membrane souple 62 qui, aussitôt, entame une phase de retournement pour finir par émerger de ladite gorge 63 dans laquelle elle se trouvait, sous la forme d'un bourrelet pneumatique 69 représenté en figure 9. La formation de ce bourrelet 69 entraîne le déplacement du disque 81 de la feuille 64. Le déplacement dudit disque 81 est rendu possible grâce aux quatre brins déformables 82 en forme de S qui se tendent sans se rompre pour maintenir une liaison avec la bande annulaire 80. Ledit déplacement induit une aspiration de fluide dans l'espace que la membrane élastique 67 crée en s'éloignant du support 61. La membrane élastique 67 assure une bonne étanchéité de l'espace dans lequel est aspiré le fluide. L'air de l'espace situé derrière la membrane élastique 67 s'évacue par les deux événements 66 de l'espace libre 65 dont le volume ne cesse de décroître.

En se référant à la figure 10, une seconde variante de réalisation d'une micropompe 100 utilisant un microactionneur selon l'invention ne diffère de la micropompe décrite ci-dessus qu'au niveau de la feuille 102 et de la membrane 101 qui la recouvre. En effet, la feuille 102 se présente sous la forme d'un disque plat 103 élargi dont le diamètre est sensiblement égal à l'espace libre cylindrique correspondant à celui désigné

par le repère 65 sur la figure 7 et situé de l'autre côté de ladite feuille 102. Ledit disque 103 est relié au support 104 au moyen de quatre brins déformables 105 en forme de S. De cette manière, la membrane 101 qui recouvre la feuille 102 est fixée dans ledit espace libre cylindrique, de sorte qu'elle tapisse intégralement ledit espace, aussi bien le fond que la paroi latérale interne. Ladite membrane 101 est fixée dans ledit espace au niveau de sa paroi latérale interne à sa partie la plus éloignée de ladite feuille 102. Le principe de fonctionnement d'une telle micropompe 100 est analogue à celui décrit pour la première variante. L'avantage technique octroyé par une telle configuration est un gain de volume de l'espace dans lequel est aspiré le fluide, puisque cet espace est sensiblement celui qui existe au-delà de la feuille 102 avant que le microactionneur n'ait fonctionné.

Selon l'invention, une évacuation des gaz vers l'extérieur ou vers une chambre secondaire du type de celle décrite en référence à la figure 2 peut également être envisagée dans ces deux variantes de micropompe 40 et 100. Dans ce cas, une canalisation relie la chambre annulaire 63 à une chambre secondaire. La canalisation est obturée lors de la première déformation de la membrane 62 créant l'aspiration du fluide. Selon l'invention, l'évacuation des gaz vers l'extérieur ou la détente des gaz provoquée par la mise en communication de la chambre annulaire et de la chambre secondaire provoquera le dégonflement de la membrane 62 et donc une réduction de sa déformation. De même, comme dans le mode de réalisation de la figure 2, dans le cas où l'évacuation d'au moins une partie des gaz est effectuée vers une chambre secondaire, une seconde charge pyrotechnique pourra être prévue à l'intérieur de l'une des chambres de manière à obtenir après son initiation,

une nouvelle déformation de la membrane 62. L'initiation de la seconde charge pyrotechnique permet de créer une nouvelle surpression dans les deux chambres en communication et donc d'obtenir un nouveau gonflement de la membrane 62. Le gonflement de la membrane 62 induit une nouvelle aspiration de fluide dans l'espace que la membrane élastique 67 crée en s'éloignant du support 61. Avec ces modifications, la micropompe 40 et 100 sera apte à réaliser deux aspirations successives de liquide.

Comme décrit ci-dessus, pour ces deux variantes de micropompe 40 et 100, il est également possible de prévoir un certain nombre d'autres chambres du type de la chambre secondaire 722, ce nombre dépendant du nombre d'aspirations que l'on souhaite réaliser.

15

20

25

30

35

### Revendications

1. Microactionneur (1,60,7) comprenant une chambre (2,63,720), dite principale, réalisée dans un support solide (3) et contenant une charge pyrotechnique (6,721), dite principale, ladite chambre (2,63,720) principale étant hermétique et délimitée d'une part par des parois solides du support et d'autre part par une membrane (4,62,710) déformable, de sorte que les gaz émis par la combustion de la charge pyrotechnique (6,721) principale permettent d'accroître le volume de ladite chambre (2,63, 720) principale par déformation de ladite membrane (4,62, 710), tout en maintenant intactes les parois solides de la chambre (2,63, 720) principale, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'évacuation des gaz de la chambre (720) principale.
2. Microactionneur (1, 60, 7) selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'évacuation des gaz sont actionnables sur commande.
3. Microactionneur (7) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens d'évacuation des gaz comportent une canalisation (730) d'évacuation débouchant à une extrémité dans la chambre principale (720) et à une autre extrémité vers l'extérieur du support, la canalisation (730) étant initialement obturée lors de la déformation de la membrane (710), les moyens d'évacuation comportant également des moyens d'ouverture de la canalisation (730), actionnés pour permettre l'évacuation des gaz par la canalisation (730) de la chambre principale (720) vers l'extérieur du support.
4. Microactionneur (7) selon la revendication 1 ou 2,



caractérisé en ce que les moyens d'évacuation des gaz comportent au moins une canalisation (730) d'évacuation débouchant à une extrémité dans la chambre (720) principale et à une autre extrémité dans une autre  
5 chambre (722), dite secondaire, hermétique, la canalisation (730) d'évacuation étant initialement obturée lors de la déformation de la membrane (710), les moyens d'évacuation comportant également des moyens d'ouverture de la canalisation (730), actionnés pour  
10 permettre l'évacuation des gaz par la canalisation (730) de la chambre (720) principale vers la chambre (722) secondaire.

5. Microactionneur (7) selon la revendication 3 ou 4,  
15 caractérisé en ce que la canalisation (730) d'évacuation est obturée par un bouchon (723).

6. Microactionneur (7) selon la revendication 5,  
caractérisé en ce que le bouchon (723) est constitué  
20 d'une charge pyrotechnique.

7. Microactionneur selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce qu'une autre charge pyrotechnique, dite charge pyrotechnique (724)  
25 secondaire, est logée dans l'une des deux chambres (720, 722).

8. Microactionneur selon la revendication 7, caractérisé en ce que chacune des charges pyrotechniques  
30 (6, 721, 723, 724) est déposée sur une piste conductrice chauffante avec une épaisseur de dépôt inférieure à 200  $\mu\text{m}$ .

9. Microactionneur selon la revendication 7 ou 8,  
35 caractérisé en ce que chacune des charges pyrotechniques

(721, 724), principale ou secondaire, a la forme d'un film recouvrant une cavité creusée dans le support (3).

10. Microactionneur selon l'une quelconque des  
5 revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le support est constitué d'un empilement de plusieurs couches (71,72,73,74).

11. Microactionneur selon l'une quelconque des  
10 revendications 6 à 10, caractérisé en ce que les charges pyrotechniques (6,721,723,724) sont constituées par une composition à base de nitrocellulose.

12. Microactionneur selon l'une quelconque des  
15 revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le volume de la chambre (2,63, 720) principale est inférieur à 1 cm<sup>3</sup>.

13. Microactionneur selon la revendication 12,  
20 caractérisé en ce que la densité de chargement qui est le rapport de la masse de la charge pyrotechnique (6, 721) principale sur le volume de la chambre (2,63, 720) principale est compris entre 0,01 µg/mm<sup>3</sup> et 0,1 mg/mm<sup>3</sup>.

25 14. Microactionneur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la membrane (62) est souple et repliée (62) dans ladite chambre (63), ladite membrane (63) étant apte à se déplier sous l'effet des gaz émis par la charge pyrotechnique (6).

30

15. Microactionneur selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que la membrane (4,62,710) est en téflon.

35 16. Microsystème incluant un microactionneur (1,60)

conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comporte une pièce solide, la déformation de la membrane (4,62) provoquant le déplacement de la pièce solide (15,21,64).

5

17. Microsystème selon la revendication 16, caractérisé en ce que la pièce solide (15) pivote sous l'effet des gaz de combustion et vient obstruer une canalisation de fluide (12).

10

18. Microsystème incluant un microactionneur (60) conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que

- i) une membrane souple (62) est située dans un espace annulaire (63) assimilable à une gorge et constituant la chambre principale,
- ii) la charge pyrotechnique est située dans un espace annulaire assimilable à une gorge de plus petite dimension que celle dans laquelle est située la membrane souple (62) et positionnée de façon concentrique par rapport à celle-ci, les deux gorges communiquant entre elles par au moins une ouverture,
- iii) une pièce solide plate (64) vient en appui contre le support (61) en coiffant l'espace annulaire (63) dans lequel est situé la membrane souple (62), ladite pièce (64) étant elle-même recouverte par une membrane élastique (67) et obstruant une canalisation de fluide (68),

30

de sorte que les gaz émis par la combustion de la charge entraînent le déploiement de la membrane souple (62) située dans l'espace annulaire (63) et provoquent le déplacement de la pièce plate (64), en induisant une aspiration de fluide dans l'espace que la membrane

35

élastique (67) crée en s'éloignant du support (61).

19. Microsystème incluant un microactionneur conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé  
5 en ce que la membrane (4) se déforme sous l'effet des gaz de combustion pour venir obturer une canalisation de fluide.

20. Procédé de mise en oeuvre d'un microactionneur tel  
10 que défini dans la revendication 3 ou 4, pour obtenir une fermeture ou une ouverture d'un microcircuit de fluide, suivie respectivement d'une ouverture ou d'une fermeture du microcircuit de fluide.

15 21. Procédé de mise en oeuvre d'un microactionneur tel que défini dans la revendication 7, pour obtenir une fermeture ou une ouverture d'un microcircuit de fluide, suivie respectivement d'une ouverture ou d'une fermeture du microcircuit de fluide, suivie respectivement d'une  
20 nouvelle fermeture ou d'une nouvelle ouverture du microcircuit de fluide.

25

30

35

1/5

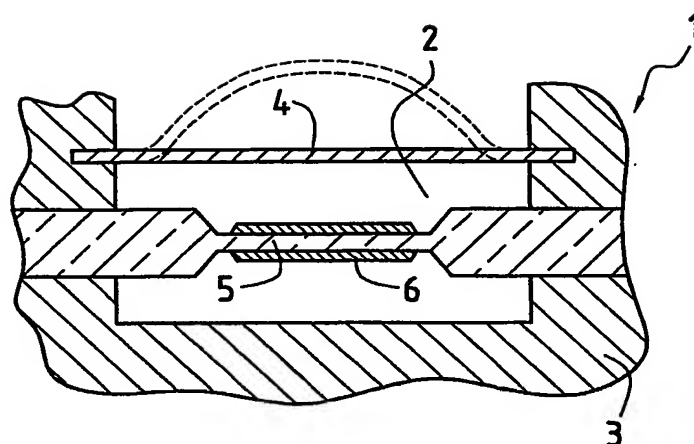


FIG. 1

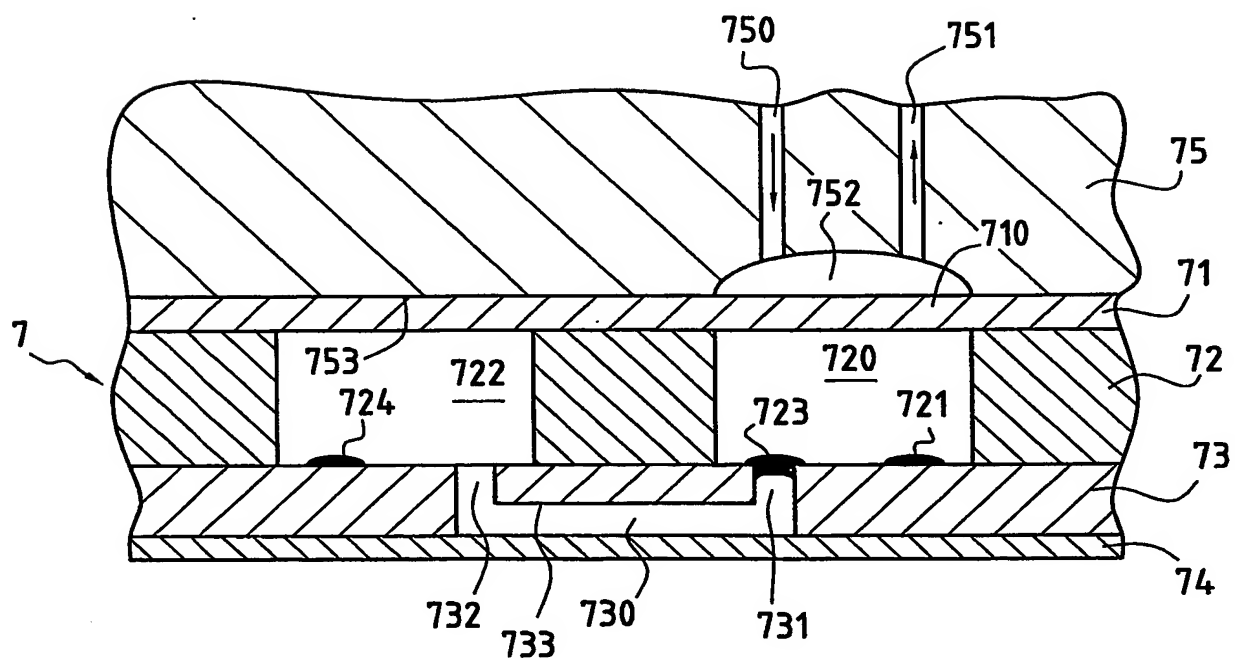


FIG. 2

2/5

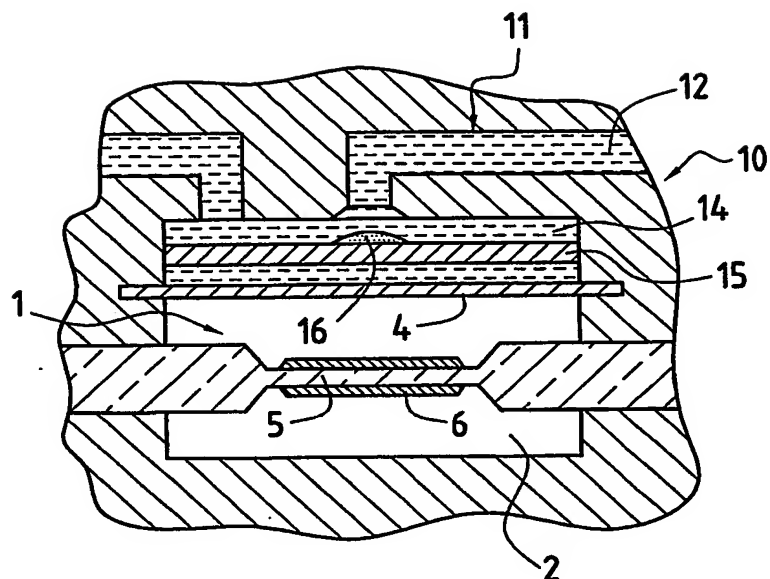


FIG.3

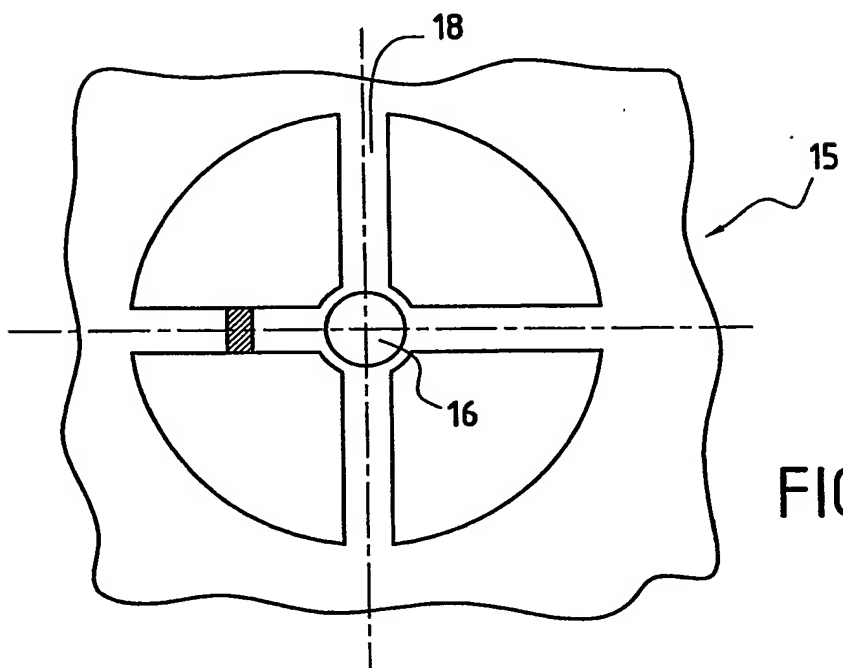


FIG.4

3/5

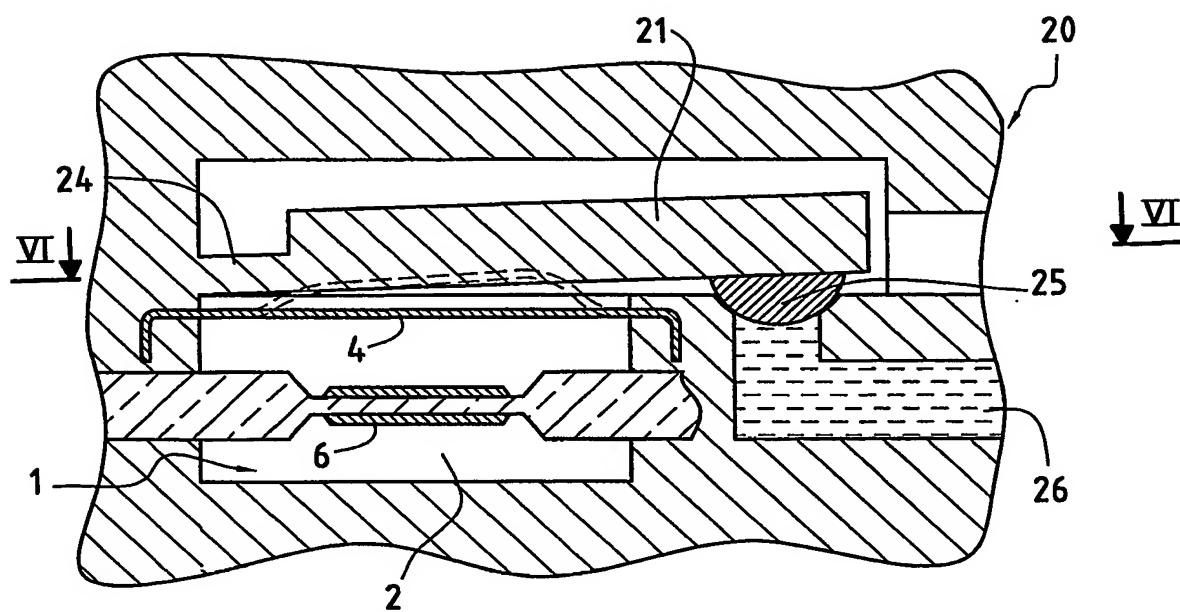


FIG. 5

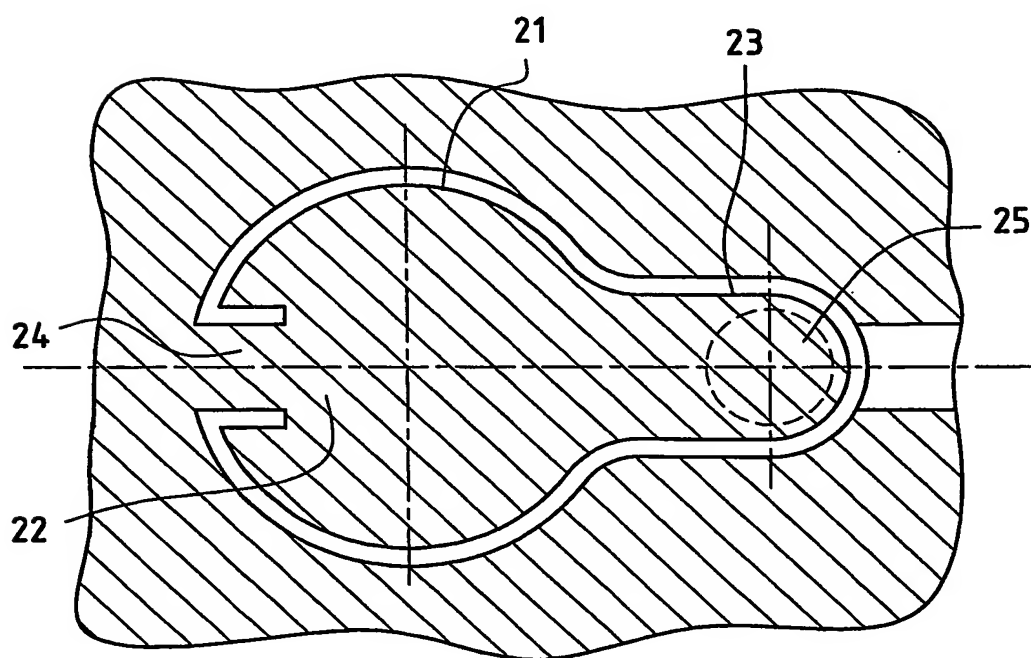
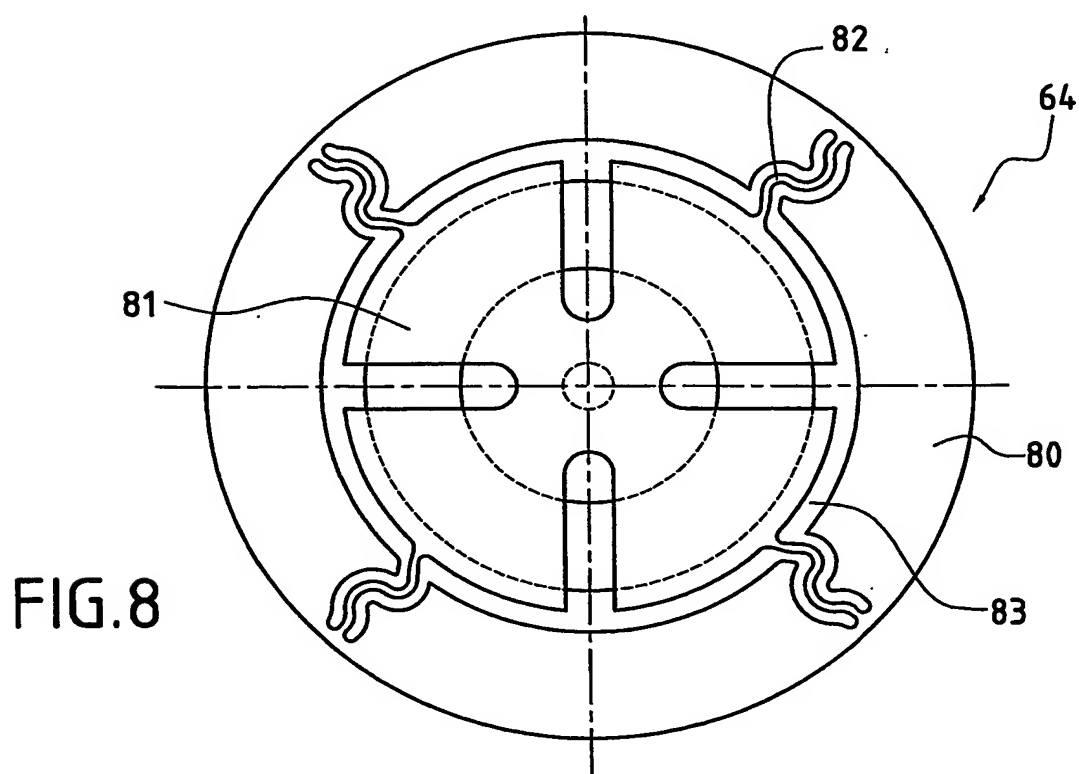
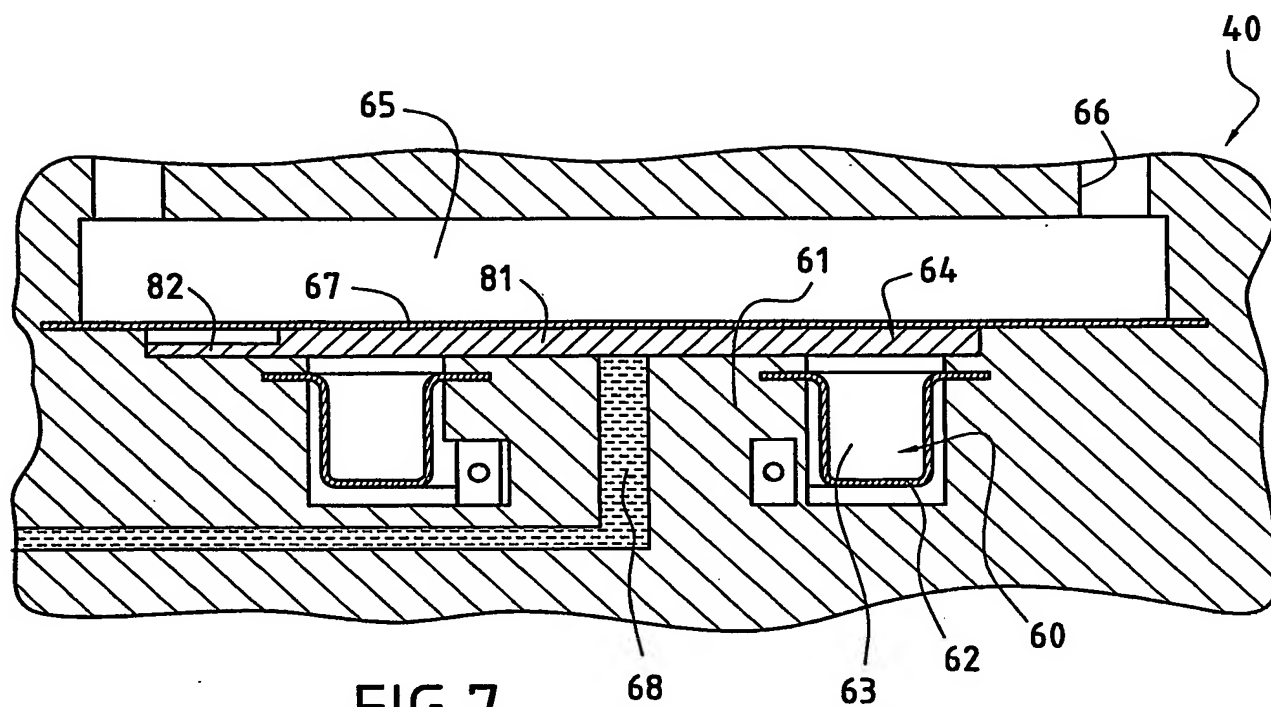


FIG. 6





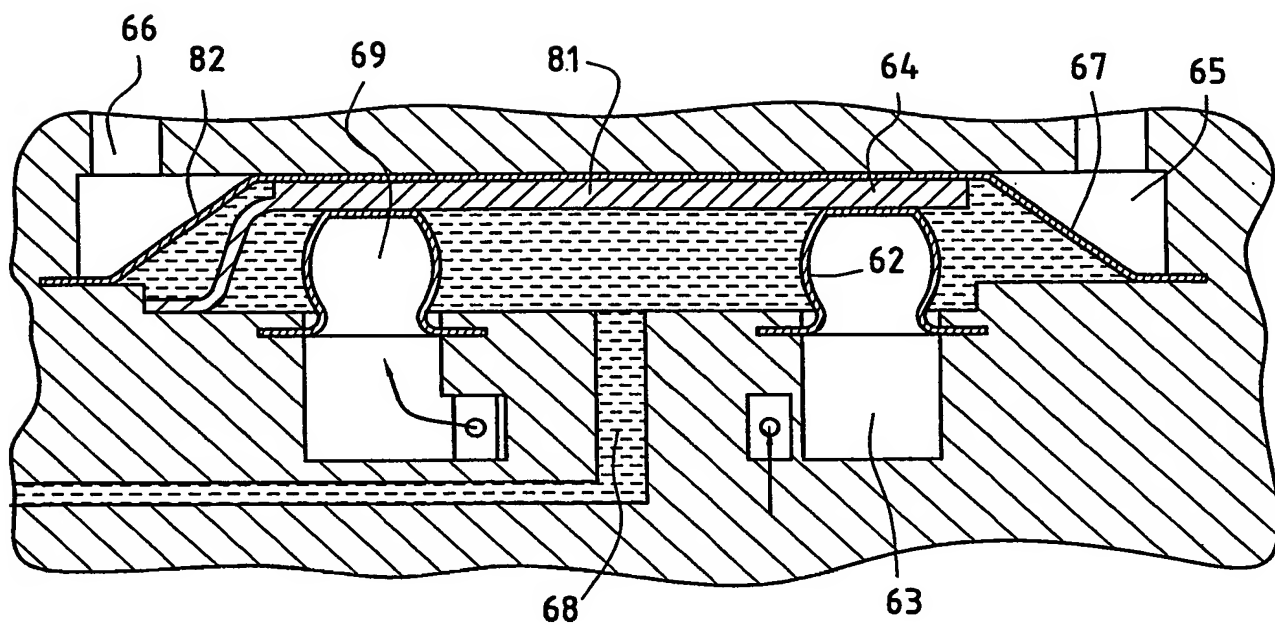


FIG. 9

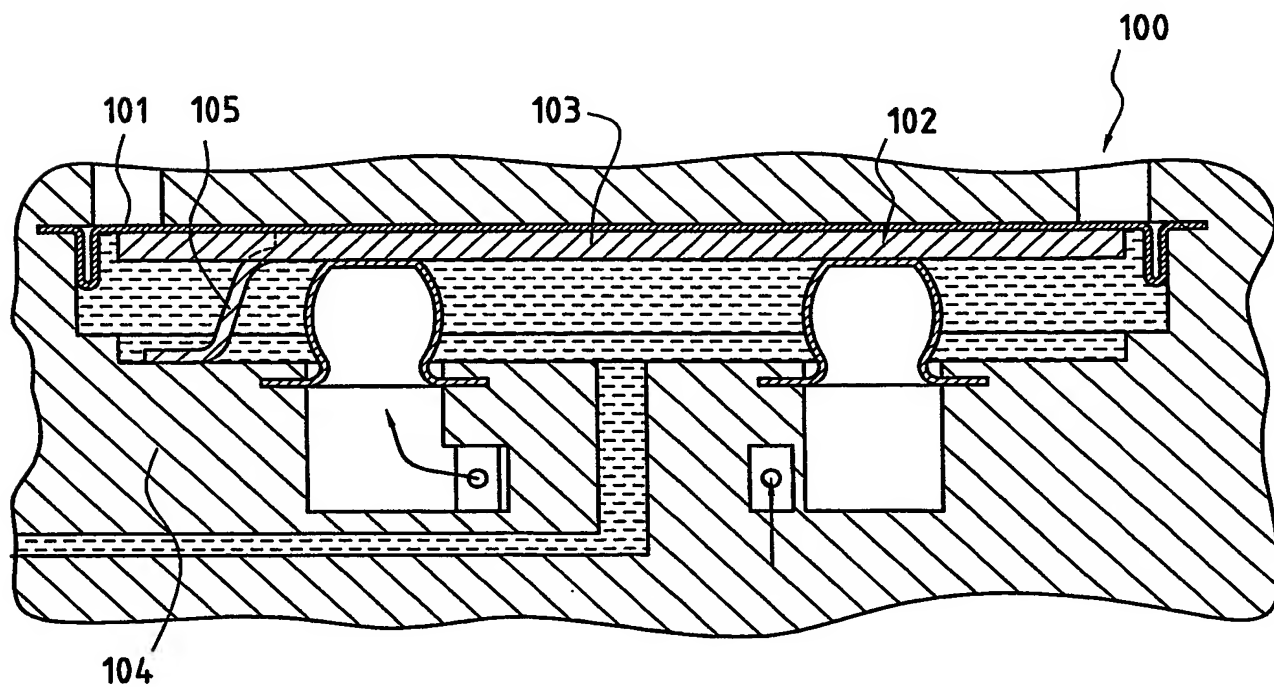


FIG. 10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR 03/03404

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F15B15/19 F15C5/00 H01H39/00 B01L3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F15B F15C H01H B01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 98 22719 A (ESTEVE DANIEL ;MIKLER CLAUDE (FR); TEILLAUD ERIC (FR); MILLOT PHIL) 28 May 1998 (1998-05-28) cited in the application figures 1-7 page 5, line 34 -page 12, line 25	1-3,5,7, 8,12,13, 16,20,21
Y		9-11,14, 15,17-19
A		4,6
Y	WO 02 088551 A (PERUT CHRISTIAN ;ROLLER DENIS (FR); POUDRES & EXPLOSIFS STE NALE ( ) 7 November 2002 (2002-11-07) figures 1-10 page 2, line 25 -page 16, line 27	9-11,14, 15,17-19
A		1-8,12, 13,16, 20,21
	---	
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*S\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 March 2004

Date of mailing of the international search report

12/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Polesello, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR 03/03404

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 787 074 A (LEWIS D ET AL) 22 January 1974 (1974-01-22) figure 1 column 1, line 67 -column 3, line 12	1-7, 14, 20, 21
A		8-13, 15-19
A	US 4 111 221 A (OLSEN CHARLES R) 5 September 1978 (1978-09-05) cited in the application figures 1-8 column 3, line 6 -column 6, line 38	1-21

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/FR 03/03404

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9822719	A	28-05-1998	FR 2756032 A1	22-05-1998
			FR 2764034 A1	04-12-1998
			AT 213309 T	15-02-2002
			AU 725913 B2	26-10-2000
			AU 5227798 A	10-06-1998
			BR 9713381 A	21-03-2000
			CA 2272326 A1	28-05-1998
			DE 69710486 D1	21-03-2002
			DE 69710486 T2	31-10-2002
			DE 939862 T1	06-04-2000
			EP 0939862 A1	08-09-1999
			ES 2138575 T1	16-01-2000
			WO 9822719 A1	28-05-1998
			HU 0001065 A2	28-08-2000
			JP 2001505491 T	24-04-2001
			NO 992481 A	21-05-1999
			NZ 336015 A	24-11-2000
			PL 185319 B1	30-04-2003
			SK 63999 A3	16-05-2000
			US 6247485 B1	19-06-2001
WO 02088551	A	07-11-2002	FR 2828244 A1	07-02-2003
			FR 2828245 A1	07-02-2003
			EP 1386085 A1	04-02-2004
			FR 2828195 A1	07-02-2003
			WO 02088551 A1	07-11-2002
US 3787074	A	22-01-1974	DE 2225173 A1	14-12-1972
			FR 2139920 A1	12-01-1973
			GB 1334340 A	17-10-1973
			IT 958934 B	30-10-1973
US 4111221	A	05-09-1978	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

PCT/FR 03/03404

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 7 F15B15/19 F15C5/00 H01H39/00 B01L3/00		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 F15B F15C H01H B01L		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 98 22719 A (ESTEVE DANIEL ;MIKLER CLAUDE (FR); TEILLAUD ERIC (FR); MILLOT PHIL) 28 mai 1998 (1998-05-28) cité dans la demande figures 1-7 page 5, ligne 34 -page 12, ligne 25	1-3,5,7, 8,12,13, 16,20,21
Y		9-11,14, 15,17-19
A		4,6
Y	WO 02 088551 A (PERUT CHRISTIAN ;ROLLER DENIS (FR); POUDRES & EXPLOSIFS STE NALE ( ) 7 novembre 2002 (2002-11-07) figures 1-10 page 2, ligne 25 -page 16, ligne 27	9-11,14, 15,17-19
A		1-8,12, 13,16, 20,21
	---	
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  4 mars 2004		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  12/03/2004
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  Poleseello, P

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

PCT/FR 03/03404

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 3 787 074 A (LEWIS D ET AL) 22 janvier 1974 (1974-01-22) figure 1 colonne 1, ligne 67 -colonne 3, ligne 12	1-7, 14, 20, 21
A		8-13, 15-19
A	US 4 111 221 A (OLSEN CHARLES R) 5 septembre 1978 (1978-09-05) cité dans la demande figures 1-8 colonne 3, ligne 6 -colonne 6, ligne 38	1-21

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR 03/03404

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9822719	A	28-05-1998	FR 2756032 A1	22-05-1998
			FR 2764034 A1	04-12-1998
			AT 213309 T	15-02-2002
			AU 725913 B2	26-10-2000
			AU 5227798 A	10-06-1998
			BR 9713381 A	21-03-2000
			CA 2272326 A1	28-05-1998
			DE 69710486 D1	21-03-2002
			DE 69710486 T2	31-10-2002
			DE 939862 T1	06-04-2000
			EP 0939862 A1	08-09-1999
			ES 2138575 T1	16-01-2000
			WO 9822719 A1	28-05-1998
			HU 0001065 A2	28-08-2000
			JP 2001505491 T	24-04-2001
			NO 992481 A	21-05-1999
			NZ 336015 A	24-11-2000
			PL 185319 B1	30-04-2003
			SK 63999 A3	16-05-2000
			US 6247485 B1	19-06-2001
WO 02088551	A	07-11-2002	FR 2828244 A1	07-02-2003
			FR 2828245 A1	07-02-2003
			EP 1386085 A1	04-02-2004
			FR 2828195 A1	07-02-2003
			WO 02088551 A1	07-11-2002
US 3787074	A	22-01-1974	DE 2225173 A1	14-12-1972
			FR 2139920 A1	12-01-1973
			GB 1334340 A	17-10-1973
			IT 958934 B	30-10-1973
US 4111221	A	05-09-1978	AUCUN	